

經濟部暨所屬機關因公出國報告  
(出國類別：考察)

2018 紐西蘭地熱發電參訪團

服務機關：台灣中油公司探採事業部

姓名職稱：陳大麟 副執行長

施輝煌 副處長

派赴國家：紐西蘭

出國期間：107 年 3 月 10 日至 3 月 17 日

報告日期：107 年 4 月 9 日

## 摘要

台灣曾是國際上第 14 個成功利用地熱發電的國家，但自 1993 年清水地熱發電廠關閉至今，目前實際商轉發電量仍為零；而與台灣同位處環太平洋火山帶之紐西蘭，其 2017 年之地熱發電裝置容量是全球第 5 名(980MWe)，規劃 2025 年再生能源占比要達 90%。因此紐西蘭地熱發電成功之相關實務經驗，可做為國內推展地熱發電之借鏡。

響應政府積極推展再生能源政策，本公司肩負有推展地熱能源探勘和開發之使命，擬藉由參訪紐西蘭地熱發電之相關實務經驗，期能提升本公司地熱探採觀念、最新地熱鑽井和開發技術等，及評估雙方技術合作或引進之可行性。同時也藉瞭解該國政府策略、法規及與原住民合作等方式，希能有助於國內地熱探勘大環境之改善。

關鍵詞：地熱(Geothermal)、火山(Volcano)、紐西蘭(New Zealand)、再生能源(Renewable energy)、地熱發電廠(Geothermal power station)

# 目次

摘要

壹、目的	p1
貳、過程	p2
一、考察行程	p2
二、團員名單	p3
參、具體成效	p5
肆、心得及建議	p9
伍、附圖	p11

## 壹、目的

本次出國係參加能源局邀請之「2018 紐西蘭地熱發電參訪團」，以紐西蘭在熱水型地熱發電廠之多年成功經驗，作為國內推展地熱能源開發之參考。尤其與台灣同位於環太平洋火山帶上之紐西蘭，2017 年地熱發電裝置容量高居全球第 5 名(980MWe)，其地熱發電成功之相關實務經驗和關鍵技術，足以做為國內推展地熱發電之借鏡。

此次參訪係以研討會和野外實地考察等方式進行，期能經由與政府機構、學術和研究等不同單位及民營電力公司之研討，瞭解該國推展地熱能源開發之整體規劃和實際執行經驗。同時也希望與 GNS Science (Institute of Geological and Nuclear Science)、NZ Geothermal Association 研究單位及奧克蘭大學地熱研究所等學者專家經由學術交流，提升本公司地熱探採觀念、最新地熱鑽井和開發技術等，及評估雙方技術合作或引進之可行性。

目前紐西蘭之地熱發電營運，大都由私人企業投資和開發。因此該國有超過 70 家以上之地熱相關公司，從法規、探勘、鑽井，甚至前期之設計、專案管理及後期建造工程和營運等，皆已建置完整之地熱發電產業鏈，可藉由多領域之技術經驗交流，早日提升台灣地熱發電相關技術及加速進展時程。

另紐西蘭自 1950 年代開始開發地熱，2015 年地熱發電量約占總發電量 17%。該國除將地熱能源生產發電之外，也多用途直接運用於農業、漁業、紙業、奶製品業、住家與商業大樓供暖等，此等作法值得國內參考採用。

## 貳、過程

### 一、考察行程

日期	參訪、拜會或研討議題		地點
3 / 10 (六)	上午啟程		台灣-香港 香港-紐西蘭奧克蘭
3 / 11 (日)	上午	啟程 紐西蘭國內班機	抵達奧克蘭 奧克蘭-陶波(Taupo)
	下午	陶波 Wairekei 地熱田巡禮	陶波(Taupo)
3 / 12 (一)	上午	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Start to Steam highlights (GNS)</li> <li>•Geothermal Development stages - high level discussion(GNS)</li> <li>•Public/specialist education</li> </ul>	陶波(Taupo)
	下午	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Indigenous relationships(Contact Energy)</li> <li>•Environmental considerations (Mitchell Daysh)</li> <li>•Drilling and well service (MB Century)</li> </ul>	
3 / 13 (二)	上午	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Te Huka facility (26 MW Binary plant; Contact Energy)</li> <li>•Te Mihi facility (166 MWe Flash plant; Contact Energy)</li> <li>•Wairekei-Tauhara geothermal field</li> </ul>	陶波(Taupo)
	下午	專車前往 Rotorua 途中 <ul style="list-style-type: none"> <li>•Wai-O-Tapu 地熱（火山景觀）公園</li> <li>•參訪 Plentyflora</li> </ul>	羅托路亞(Rotorua)
3 / 14 (三)	上午	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Geothermal policy and regulatory framework (Waikato Regional Council)</li> <li>•Geothermal policy and regulatory framework (Bay of Plenty Regional Council)</li> <li>•Geothermal as a resource for indigenous people (Local Iwi)</li> </ul>	羅托路亞(Rotorua)
	下午	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Development History of Ngatamariki (Mercury)</li> <li>•Geothermal as a resource for indigenous people (Maori iwi groups)</li> <li>•Open forum, discussion, questions (GNS)</li> </ul>	
	晚上	國內班機	羅托路亞-威靈頓 (Wellington)
3 / 15 (四)	上午	•Electricity distribution in New Zealand, focus on distributed generation and	威靈頓(Wellington)

		renewables (Transpower) •International transaction support (NZ Export Credit Office, NZECO) •Economics of geothermal projects (Contact Energy)	
	下午	拜會： •Ministry of Business, Innovation and Employment (MBIE), Energy Section •Energy Efficiency and Conservation Authority (Vince Smart) 討論議題： •Joint meeting with MBIE and EECA followed by Q&A	
	傍晚	國內班機	威靈頓-奧克蘭 (Auckland)
3 / 16 (五)	上午	拜會： •Auckland University Services 討論議題： •Introduction to the Geothermal Institute •Educational courses - training the engineers of the future •Geothermal regulation - an NZ & global perspective •Electric Power Optimization Centre (EPOC) - Modelling of modern electricity markets •Advanced geothermal reservoir modelling	奧克蘭(Auckland)
	中午	•Wrap up and discussion	
	下午	•Mount Eden (火山口) 巡禮	
	晚上	返程	奧克蘭-香港
3 / 17 (六)	上午	返程	奧克蘭-香港 香港-台灣

## 二、團員名單（附圖 1）

單位	姓名	職稱
經濟部能源局	蘇金勝	主任秘書
	陳芊妤	視察
台電公司再生能源處	陳一成	處長
中油公司探採事業部	陳大麟	副執行長
	施輝煌	副處長

工業技術研究院 綠能與環境研究所	胡耀祖	所長
	顏志偉	組長
	李奕亨	副組長
金屬工業研究發展中心	吳永成	副處長
	李月修	副處長
和平電力股份有限公司	翁吉良	處長
	魏靖貴	經理

## 參、具體成效

本次 5 天之主要參訪行程，涵括紐西蘭地熱相關之產、官、學單位，以多面向方式來探討紐西蘭地熱行業之現況。大致可分為科學與技術、地方政府、政府機關、學術交流與現場參訪等相關議題研討與拜會行程。

### 一、第一天(3 月 12 日)-科學與技術研討

本日在 GNS Science 皇家研究中心於 Taupo 的辦公室與 GNS、Contact Energy、Mitchell Daysh、MB Century 等不同科學與技術單位進行研討。重點摘述如下：

- (一)紐西蘭高溫地熱田和地熱發電廠，主要位於北島之陶波(Taupo)、羅托路亞(Rotorua)和卡韋勞(kawerau)(附圖 2)。
- (二)前期探勘資料之蒐集其投資成本極低，卻可大大降低高投資之鑽井風險(附圖 3)
- (三)單靠 3D 地下構造圖無法準確預測地下形貌，需輔以地球物理測勘、地球化學、井下溫度和大地相關資料等，尤其井下資料越多其可信度越高(附圖 4)。
- (四)在陽明山國家公園未開放前，先收集地表之地球物理、地球化學等資料和建置概念模型，以因應開放後即可進行鑽探，並依最新之資料不斷更新成數據模型。
- (五)鑽井前宜先建置地表環境監測，以減少民眾對環境破壞之疑慮。
- (六)降低地熱鑽井失敗，宜蒐集重力、大地電磁和微震等品質良好地質資料，在斷層帶附近鑽井，可鑽獲較多之裂隙。
- (七)建議將地熱潛能區進行分類，並非每個潛能區皆適宜發電，有些可移作其他產業使用。地熱發電基本條件為高溫、高滲透性和略中性水質。
- (八)pH 值在 3 或 4，可使用特殊材質來發電，只是略增加其投資成本。但 pH 值在 2 附近，以目前之技術，材質成本過高並不符投資效益。
- (九)大屯山因淺層覆蓋之火成岩厚度不厚，致不易中和酸性水。可先蒐集地表露頭水分析其液體化學成分和 pH 值，分析其來源和尋找不酸之目標。
- (十)紐西蘭火山大多屬弱酸至中性水質，只有 2 個火山案例是屬強酸型。
- (十一)紐西蘭的地熱系統為大陸型，台灣為島弧型，兩者地質條件不同(附圖 5)。
- (十二)開發地熱，應保護當地原住居民權利和其文化、多溝通和參與合作。
- (十三)土地取得、水權取得、環保許可申請等，向區域政府申請，准駁權在區域政府，各方利益關係者對此有反對權，因此業者在申請過程極其小心，力求開發案能有利於大眾。
- (十四)開發許可權有時間上之限制，若其許可權上之項目有改變時，即需重新申請許可。
- (十五)MB Century 鑽井公司，提供鑽井、井測、環境監測、蒸汽田設計

和建造、發電廠維護等一條龍式的地熱鑽井服務公司。在當地使用自動鑽機，現場一班 7 人，每人工作 12 小時。3 公里深井，平均 45 天可完成(附圖 6)。

## 二、第二天(3 月 13 日)-現場參訪

上午參訪 2 家屬於 Contact Energy 公司之地熱發電廠，分別為 Te Huka facility(裝置容量 28 MWe，為雙循環系統)、Te Mihi facility(裝置容量 166 MWe，為閃發式系統)(附圖 7)和 Wairekei-Tauhara 地熱田。下午參訪 Wai-O-Tapu 地熱(火山景觀)公園和 Plentyflora(利用地熱種植花卉)。重點摘述如下：

### (一)Te Huka facility：

- 1.本電廠佔地約 5 公頃，為私人土地。於 2010 年投產，採用 ORC 雙循環系統(附圖 8)，以正戊烷為工作流體進入熱交換器推動渦輪機組發電，裝置容量 28 MWe。
- 2.目前使用 3 口生產井中之 2 口井，井口溫度大約 260 °C，尾水在 2.6 公里外之地熱田邊緣以重力方式回注。

### (二)Te Mihi facility：

- 1.本電廠屬於 Wairakei 地熱田，2013 年完工，採用 2 套 83 MWe 之閃發式發電系統(附圖 9)，裝置容量 166 MWe。2009 年取得開發許可權，最大裝置容量為 240MWe。
- 2.目前使用 4 口生產井中之 2 口井供電廠運作，另 2 口井則直接使用。全自動控制。

### (三)Wairekei-Tauhara geothermal field(附圖 10)：

- 1.Wairekei 地熱電廠，自 1950 年代開始地熱發電，是全世界第一個使用熱水型地熱資源發電的電廠，號稱世界第二大發電廠。
- 2.本地熱田曾鑽超過 200 口地熱井且目前仍有約 60 口生產井。井深超過 2000 公尺，熱液儲集層約 230-260 °C，地下剖面圖如附圖 11。
- 3.本地熱田滲透率較佳，具有良好生產能力。尾水回注在地熱田外圍，主要為解決生產水和環保問題，回注最大明顯特徵是儲層壓力逐漸回復。

### (四)Wai-O-Tapu 地熱（火山景觀）公園(附圖 12、13)

在廣達 18 平方公里的區域內，分布著火山活動所造成各種火山景觀地貌，在冷卻的火山（塌陷）口內，因其水位之變化、不同之礦物質含量及酸性成分等，造成獨特又炫麗多彩之火山景觀美景。

### (五)Plentyflora

利用地熱進行溫室花卉種植。

## 三、第三天(3 月 14 日)- 地方政府

安排與兩個區域政府（Waikato Regional Council 與 Bay of Plenty Regional Council）討論地熱政策和法規架構，並與當地毛利部落代表討論原住民與地熱發展之關係。

- (一)各種管理法規皆植基於永續經營之概念。
- (二)針對各地區不同地熱資源，擬定開發使用計畫，確保商業營運管理。
- (三)1991年制定環境管理法，對早期無限制超抽地下水進行管控，才確保不對環境造成影響。
- (四)地熱有諸多用途，除發電外，還可提供健康醫療、溫泉、觀光、文化、供暖、溫水泳池、農、漁產業、烘乾業、提煉高精度矽等利用，還可提供就業機會和增加政府稅收。
- (五)Ngatamariki 地熱發電廠位於陶波北方 17 公里處(附圖 14)，2013 年正式啟用，採雙循環系統，裝置容量為 82 MWe。井底最高溫為 287 °C，最深井為 3500 公尺。目前使用 3 口生產井和 4 口回注井。其概念模型圖，如附圖 15、16。
- (六)Kawerau 地熱發電廠位於陶波火山帶附近，2008 年啟用，使用渦輪和蒸汽系統，裝置容量為 106 MWe(附圖 17、18)。

#### 四、第四天(3 月 15 日)- 政府機關

安排在 MBIE (Ministry of Business, Innovation and Employment，商業、創新與就業部) 與政府機關研討有關政策、輸電管理、貸款擔保等議題。

- (一) NZECO (NZ Export Credit Office) 是紐西蘭國家出口信用機構，提供該國出口項目之擔保和提供中長期融資，在財政部長的委派下，開立擔保。
- (二) 融資期限約 5 年，可申請展延。融資上限約 1 億元紐幣。
- (三) 基於風險須收取相關保費，達到該單位自負盈虧的長遠目標。

#### 五、第五天(3 月 16 日)- 學術交流

上午於奧克蘭大學，討論該機構之學術研究服務與地熱模型建立，中午進行本次參訪總結討論。

- (一) 奧克蘭大學地熱研究學院，提供短期和碩士學位課程。
- (二) 紐西蘭優越之地熱環境，其地熱潛能只約 2 - 4 GWe，而台灣評估地熱潛能高達 33 GWe(含深層地熱)(附圖 19)，值得深思我國的地熱潛能評估是否過於樂觀？對推展多元化之再生能源政策，是否會造成達標之影響。
- (三) 紐西蘭的電力系統，南島以水力系統為主(多餘電力傳輸至北島)、北島則為地熱系統。紐國電力裝置容量為 9.8 GWe，尖峰需求為 6.75 GWe，總供應電量為每年 43000 GWh(附圖 20)。
- (四) 紐西蘭地熱發展逾 60 年，目前之裝置容量為 980 MWe、年發電量為 7500 GWh(附圖 21)。
- (五) 紐西蘭電力約 20% 來自地熱發電，且紐西蘭目前地熱鑽井成功率在 80% 以上，此高成功率建立在早期政府建置之完整資料，且隨著新資料而不斷更新(附圖 22)。
- (六) 地熱先期評估工作無法完全避免鑽井風險，尤其台灣目前地熱鑽井

仍風險高，也沒有任何科技方法可降低其風險，唯有先備妥完整之資料和建構概念模型，經過鑽井後之資料，再修正模型，逐次降低風險。。

(七)沒有任何成功方法可取代先期之完整研究，而取得高品質之資料則是研究成功之關鍵因素。

## 肆、心得及建議

### 一、永續經營理念：

- (一)地熱能源之使用首重永續經營，需對大環境友善和保護環境，因此地熱能源使用，除生產井之外還須有回注井和監測井，以保持地下水資源平衡、防止地層下陷和確保持續生產，另水質監測和設備定期維護亦是重要永續因素。
- (二)地下地熱能源之供應並非永不改變（除非活火山地區），隨著地熱儲集層熱能不斷置換而逐漸降溫、岩石熱能傳導不佳或過度抽取地熱能，皆可能導致熱能之衰減，故宜規劃適量之生產井和回注井數量，並以合理產率生產，以維持穩定之熱能和產量。
- (三)教育民眾地熱能源對環境友好，並多與民眾溝通，降低地熱會破壞環境之疑慮；可與地主或民眾合作進行地熱能源開發，分享發電成果，以永續經營。

### 二、建構完整地熱資料庫：

- (一)以紐西蘭地熱發電成功之關鍵因素，在於早期政府出資建置完整之地熱相關資料，並在各地熱潛能區鑽地熱井以獲取地下資料，且建構地下構造圖以供評估使用。
- (二)此等地熱相關資料，應包括地表地質、重力測量、大地電磁、微地震、震測和地化水質分析等及井下鑽井資料。此等資料愈齊全和完整，愈能提高其鑽井成功率。
- (三)此等資料宜由專責單位負責蒐集、建置和更新，並管理資料之公開。由業者自行利用此等資料評估，在可降低風險之前提下，有意願投入地熱之探勘和開發。中油公司已將早期鑽探之 34 口地熱井資料，於 106 年 2 月底前提送經濟部中央地質調查所建檔管理並公開閱覽。

### 三、地熱潛能區可開發量盤點：

- (一)以紐西蘭極佳的地熱條件和環境，其地熱潛能預估約 2-4 GWe，目前地熱裝置容量也僅 1 GWe，反思我國的地熱潛能評估(33 GWe)是否過於樂觀？因此訂定之裝置容量目標也隨之提高！對民眾應以地熱可開發量取代地熱發電潛能之說法，以免誤導社會大眾以為台灣是可開發高地熱潛能國家。
- (二)盤點台灣各地熱潛能區之可開發量，視其規模分類為大型、小型地熱發電廠址、或是直接使用地熱能區。
  - 1.小型地熱發電站：可在偏遠山區或原住民部落區，甚至工業區或大型工廠區內，使用地熱工法則可採用 CEEG 法，以節省鑽井費用。
  - 2.地熱能直接使用：對於低溫地熱能源，在台灣可運用於溫泉、觀光、溫水泳池、建康醫療、溫室農、漁產業、農產食品乾燥、大

樓供暖等多元應用。

- (三)以國內地熱剛啟蒙探勘和發電階段，宜集中經費和研發在淺層地熱之發展，俟淺層地熱發電成熟之後，再逐步踏入深層地熱領域，以降低地熱鉅額投資和風險，同時可創造地熱發電成功之良好形象。

#### 四、政策面支持：

- (一)紐西蘭電業自由化，地熱電廠大多為民營，除其地熱條件優越外，必然有利可圖，業者才會積極投入，故在政策面上如何吸引業者願意投入，乃是地熱發展當務之急。
- (二)設置向政府部門申辦地熱案件之單一窗口，以縮短申請時程。
- (三)因地熱鑽井階段只對環境造成部分影響，故在地下地熱資源未探明前，建議只施作簡易環評即可，俟探明地下地熱田範圍和資源量後，再依法進行環評。

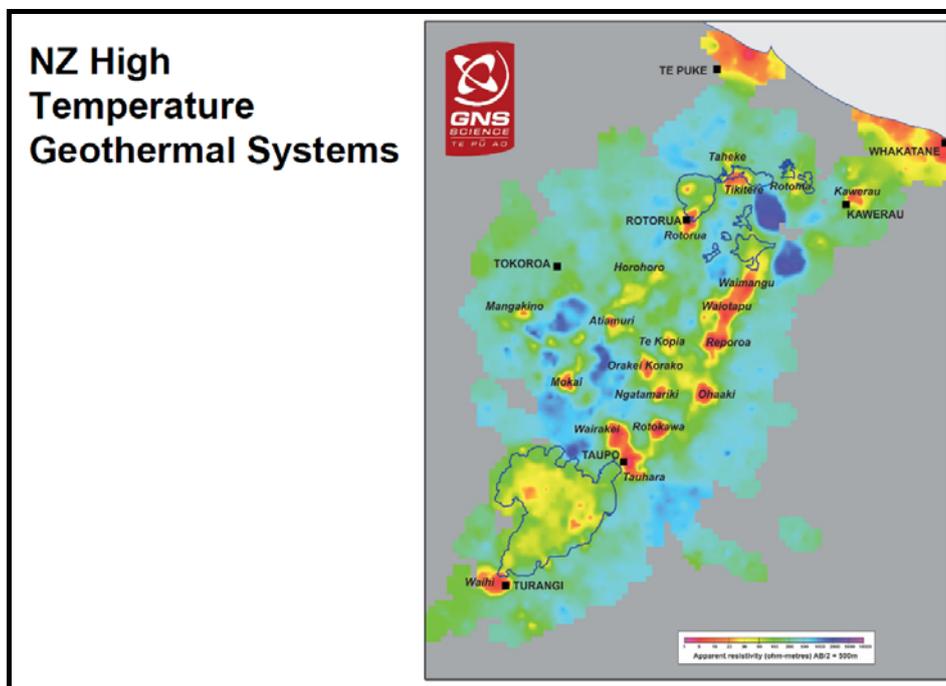
#### 五、大屯山區地熱探勘建議：

- (一)陽明山國家公園未開放前，先收集地表之相關地球物理、地球化學和鑽井等資料，先建置概念模型；同時也可參考國外之實務經驗或引進其實務技術進行完整資料之初步整合。俟國家公園即可擇優地點進行鑽探，同時依最新之資料不斷更新概念模型成數據模型。
- (二)大屯山地區因淺層覆蓋之火成岩厚度不厚，不易中和酸性水。可先蒐集地表露頭水分析其液體化學成分和 pH 值，分析其來源和尋找酸性較低之目標。
- (三)在鑽井前宜先建置地表環境監測資料，以減少民眾對環境破壞之疑慮。
- (四)pH 值在 3 或 4，可使用特殊材質和設備來發電，只是略增加其投資成本。但 pH 值在 2 附近，以目前之技術，酸性過高材質成本並不符合投資效益。
- (五)紐西蘭學者建議大屯山地區在資料不夠完整下，不宜冒然再行鑽地熱井，以免高風險之探勘結果造成民眾對地熱能源失去信心和對地熱之支持。

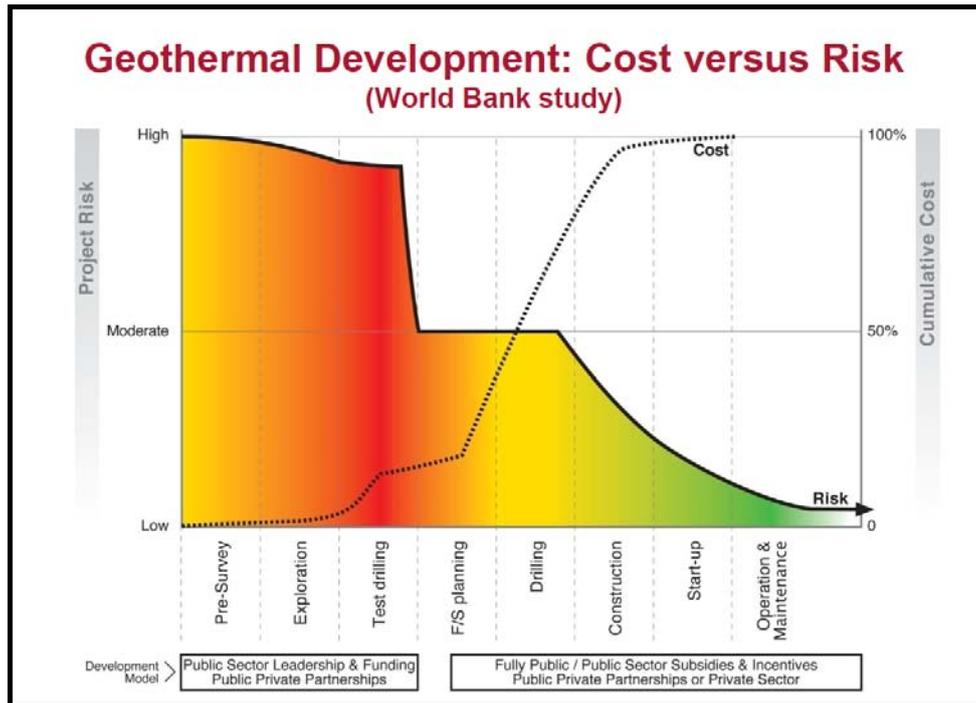
## 伍、附圖



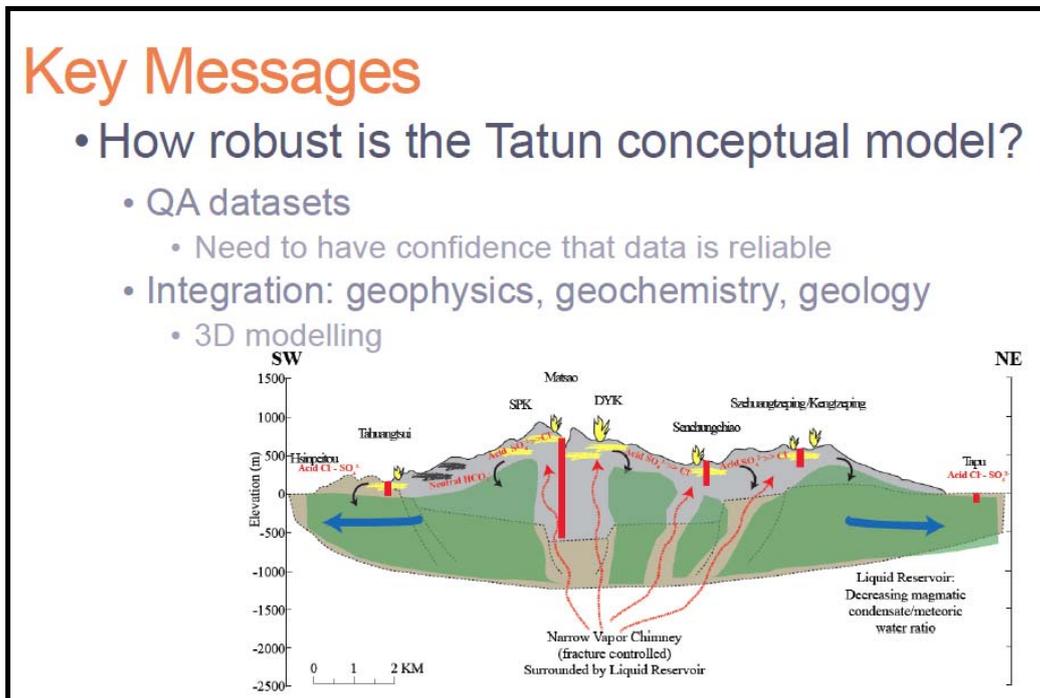
附圖 1、參訪團員合照



附圖 2、紐西蘭北島高溫地熱田和地熱發電廠位置圖



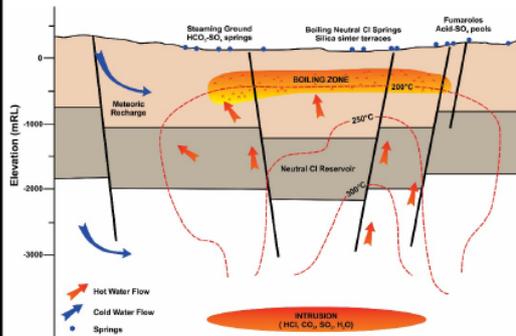
附圖 3、低投資之前期探勘資料蒐集可降低高投資之鑽井風險



附圖 4、整合所有相關地質資料建置三維模型。

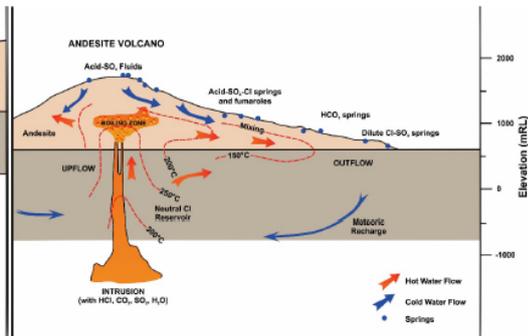
## Types of Volcanic Geothermal Systems

### Continental-type (NZ)



- Silicic volcanics, deep heat source
- Minor secondary (acid) fluids
- TVZ, Yellowstone, East Africa Rift

### Island Arc-type (Taiwan: Tatun)

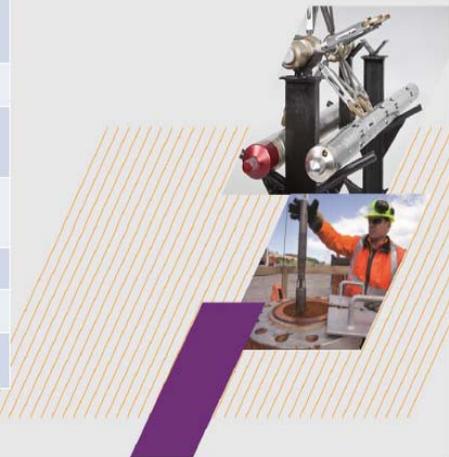


- Andesitic volcanism, shallow magma
- Secondary (acid) fluids
- Indonesia, Philippines

附圖 5、紐西蘭和台灣有不同之地熱系統。

## Well Drilling – Significant Activities

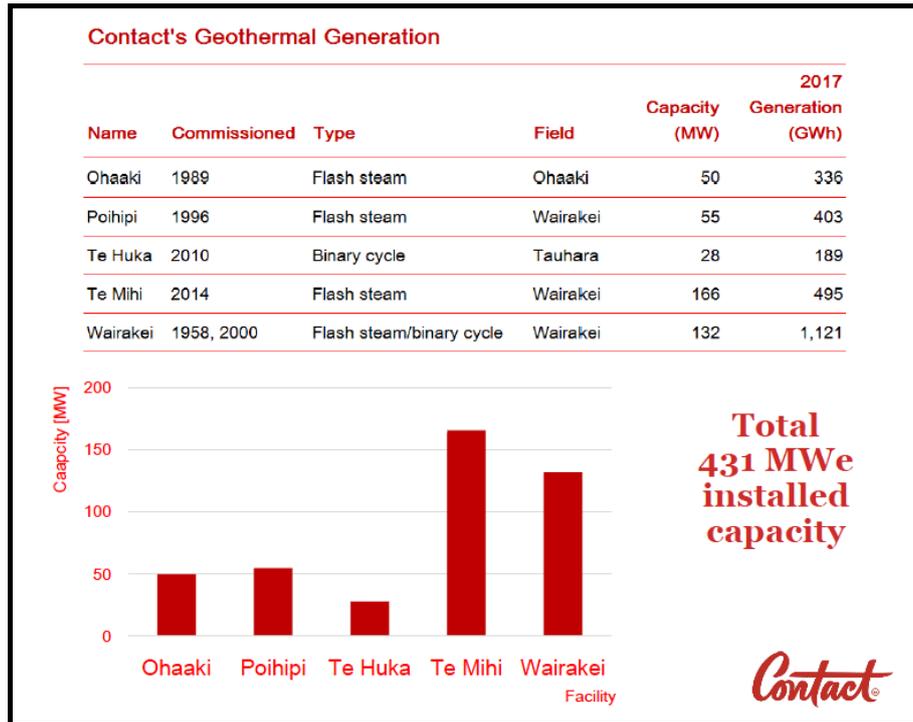
Assume total 45 days to drill the well	
Drilling 36%	16.2 days
Tripping 15.8%	7.1 days
Run & cement casing 15.4%	6.9 days
Wait on cement 6.9%	3.1 days
Quench/control well 5.9%	2.7 days
Nipple up/down BOP 4.7%	2.1 days
Reaming 4.2%	1.9 days
Condition hole 3.9%	1.8 days



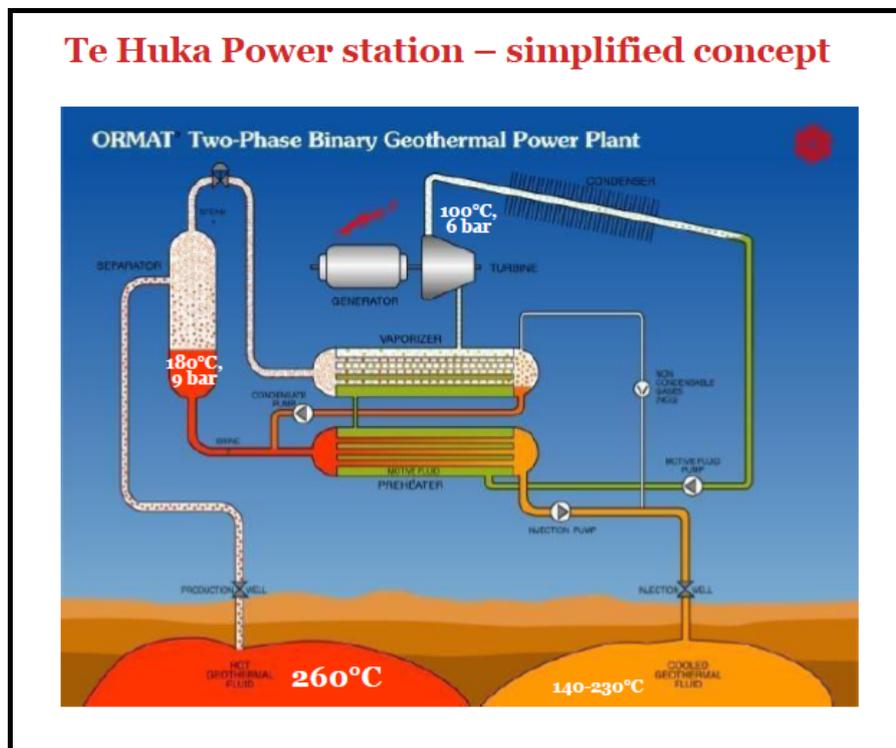
© MB Century 2013

MB Century  
WELL SERVICES

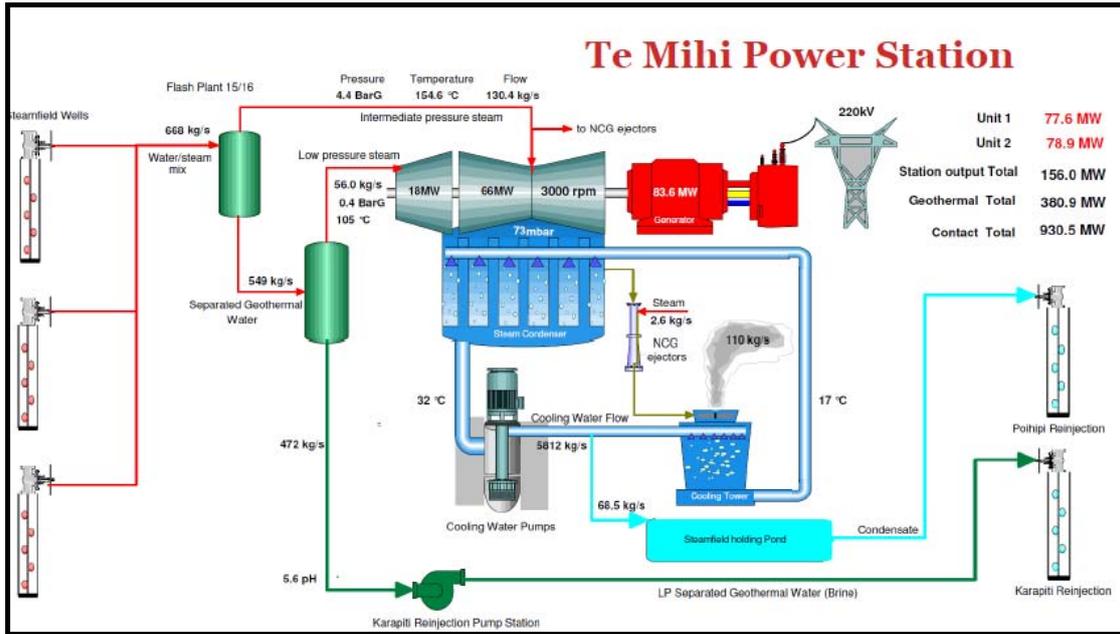
附圖 6、MB Century 鑽井公司鑽 1 口井之各工程時程百分比。



附圖 7、Contact Energy 公司地熱裝置容量和發電量



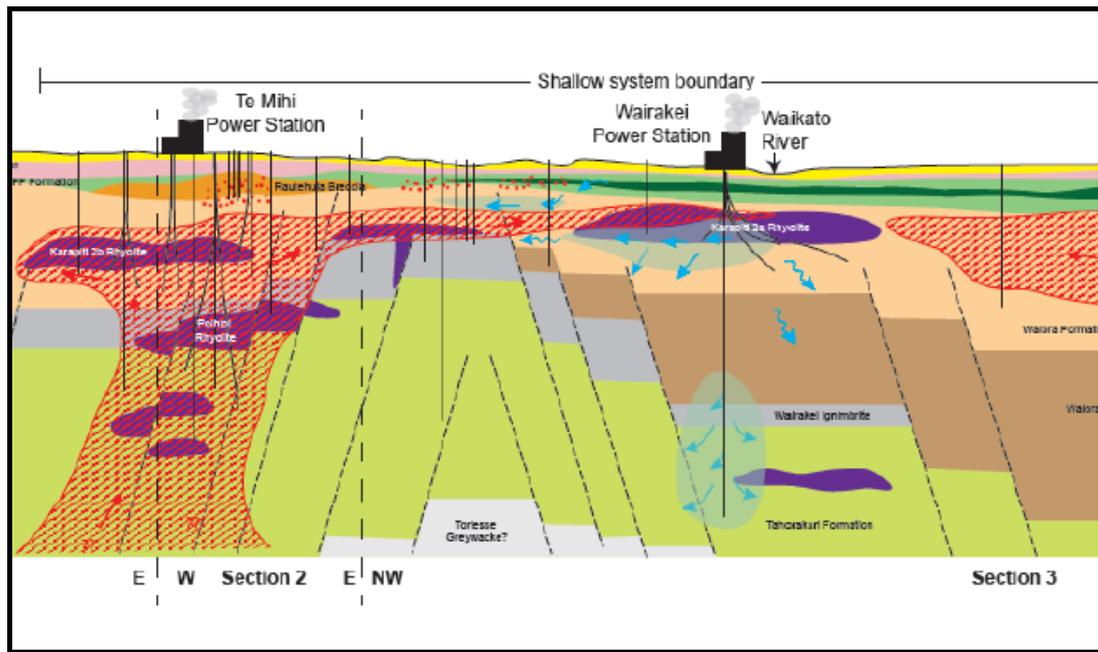
附圖 8、Te Huka 發電廠採用 ORC 雙循環系統。



附圖 9、Te Mihi 發電廠採用閃發式發電系統。



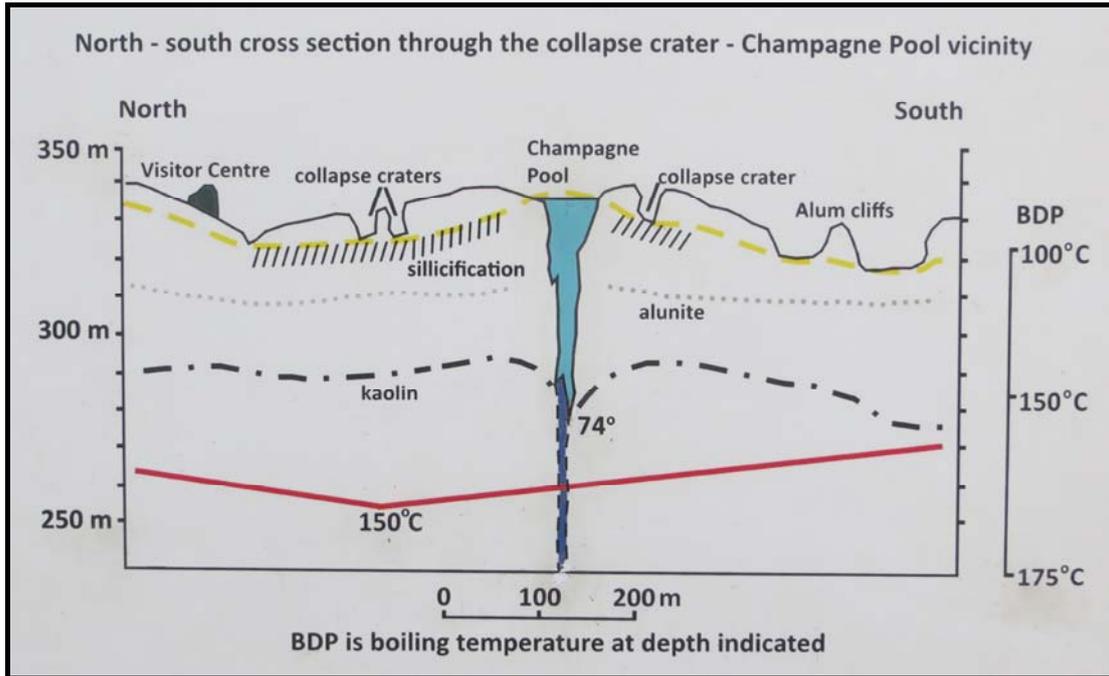
附圖 10、Wairekei 地熱田地表設施



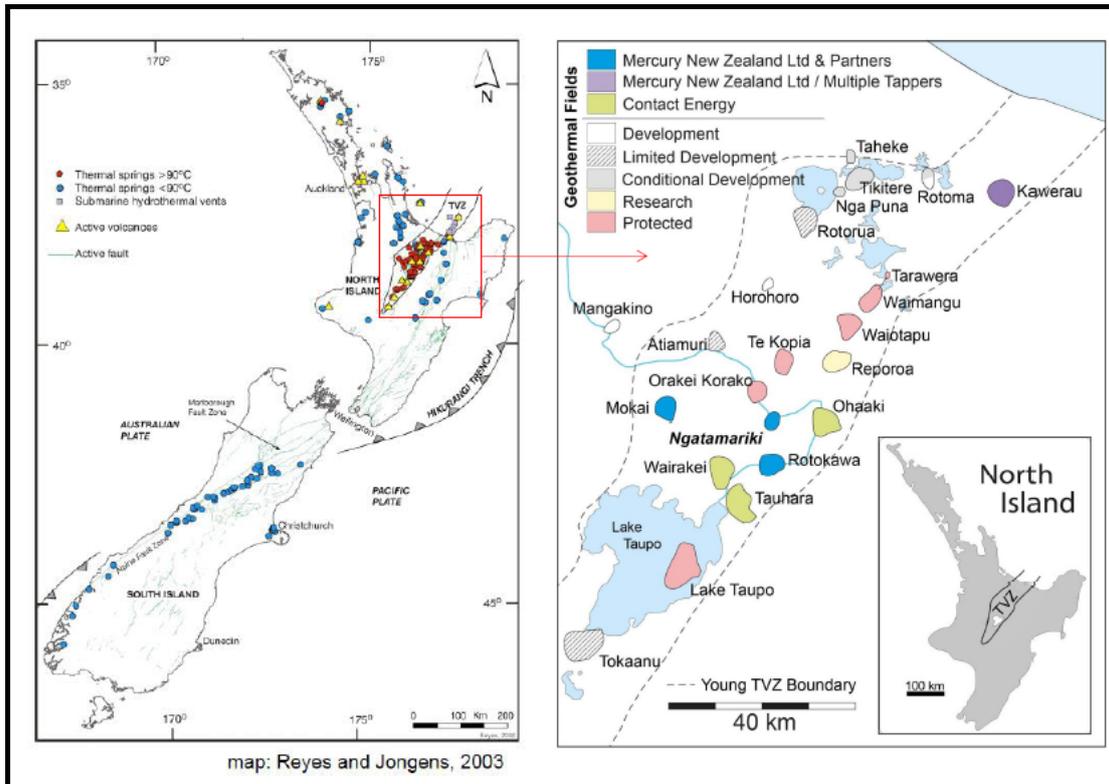
附圖 11、Wairekei 地熱田地下剖面圖



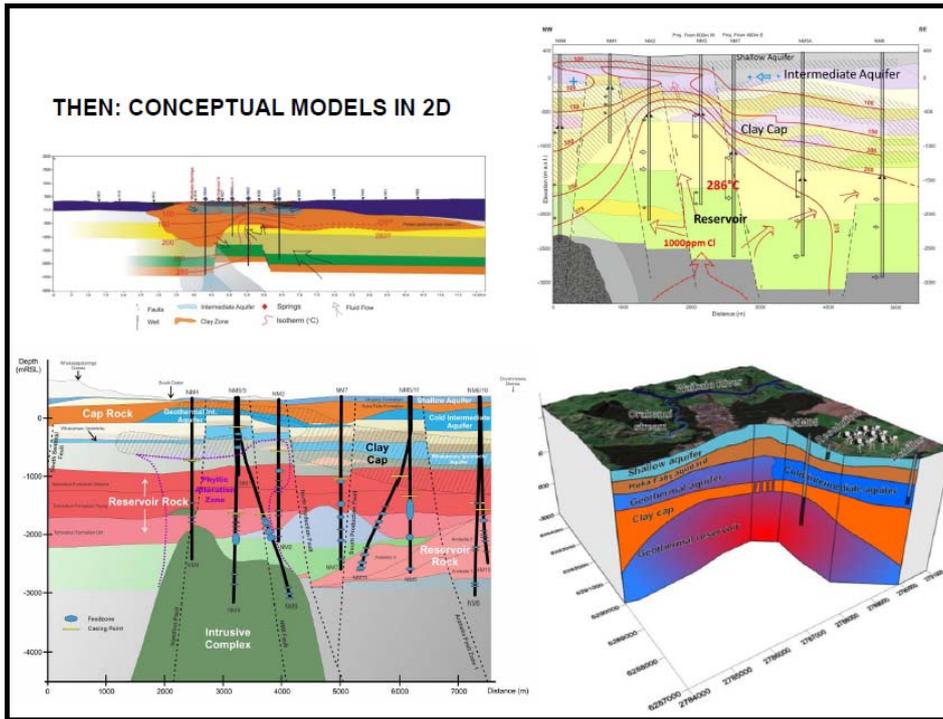
附圖 12、地熱公園香檳池，因富含不同礦物質造成水質顏色變化



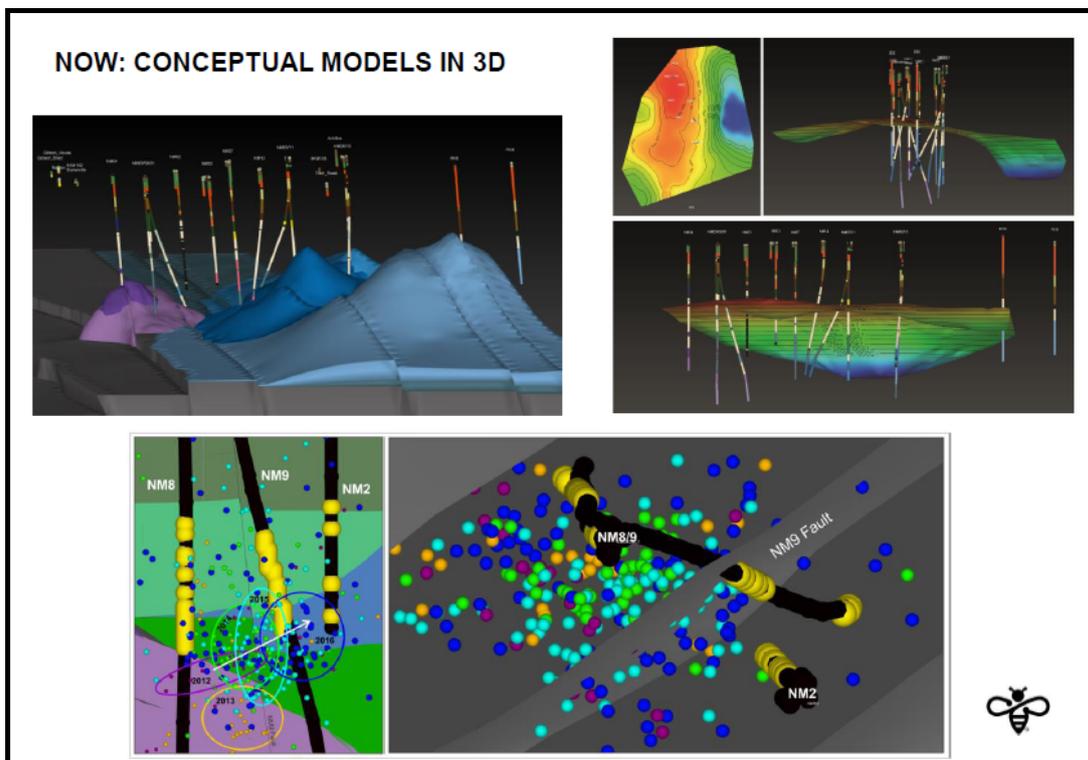
附圖 13、經過香檳池之南-北方向地下剖面圖



附圖 14、Ngatamariki 地熱發電廠位置圖

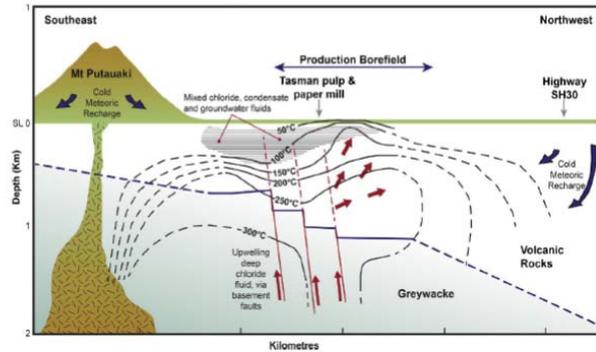
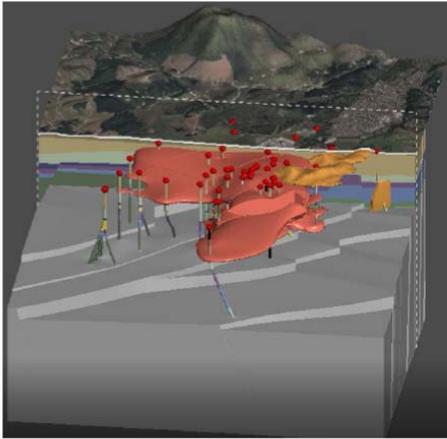


附圖 15、Ngatamariki 地熱發電廠二維概念模型



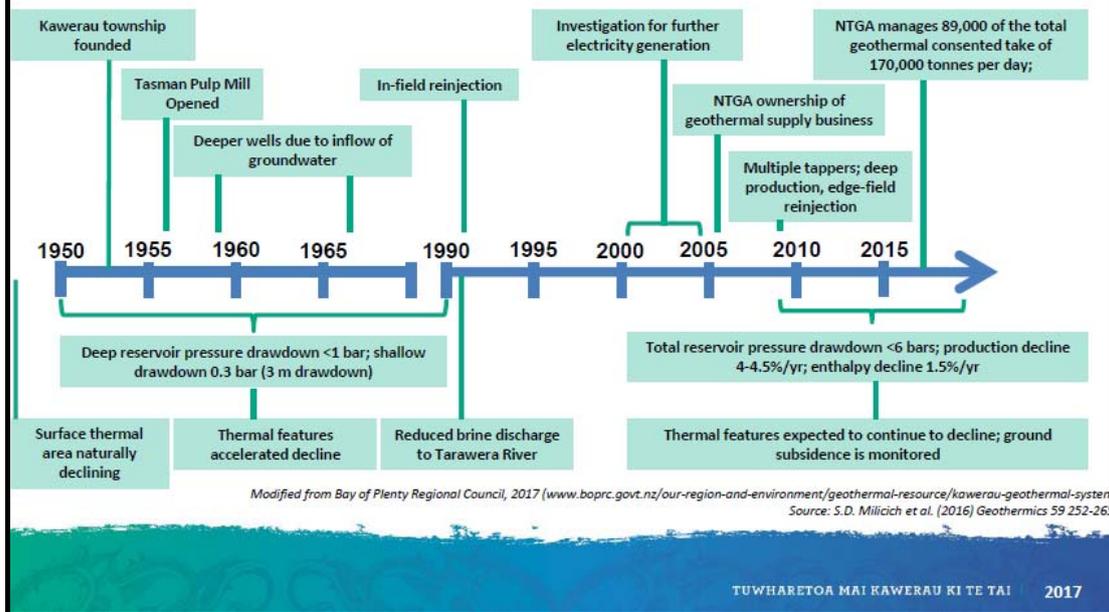
附圖 16、Ngatamariki 地熱發電廠二維概念模型

# Kawerau Geothermal System



附圖 17、Kawerau 地熱發電廠地熱系統圖

# Kawerau Geothermal Development

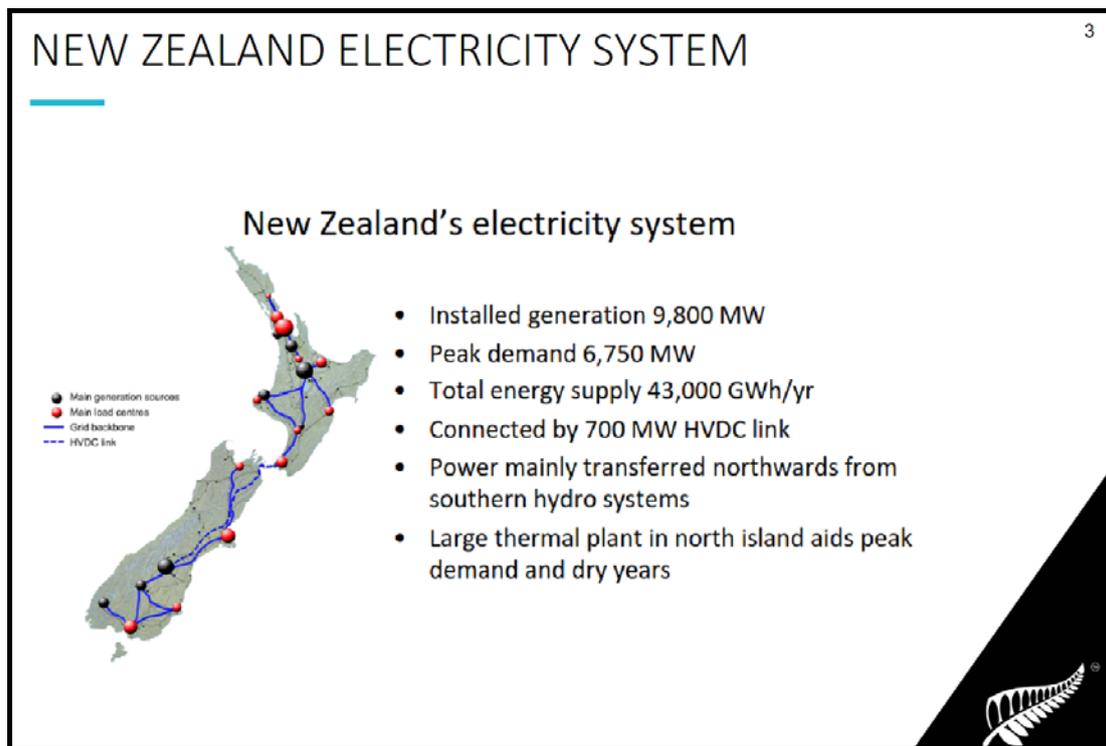


附圖 18、Kawerau 地熱發電廠發展歷程

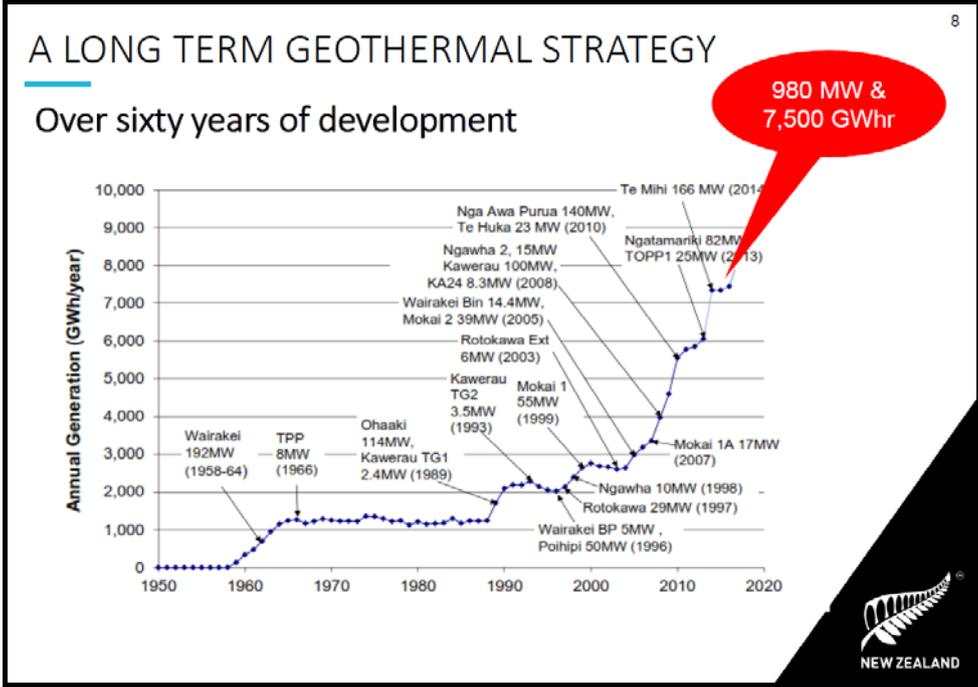
## Impression NZ - Taiwan electricity system

	NZ	Taiwan
Installed capacity (GWe)	9.5	43
Av Annual Demand Growth (%)	Low (~1%)	Higher (4-4.5%)
Thermals	Coal (0% 2030?) and (partially) gas closing	Coal (40%), Gas (30%), Nuclear (20%)
Geothermal potential (GWe)	2-4	33 GWe?
Geothermal installed capacity	~1 GWe	< 10 MWe?
Feed-in-Tariff	No FIT / subsidies	US\$ 200+ / MWh

附圖 19、紐西蘭和台灣之地熱相關資料比較



附圖 20、紐西蘭電力系統相關資料



附圖 21、紐西蘭地熱發展逾 60 年之發電量

13

## KEY FEATURES OF NEW ZEALAND SUCCESS

- Government funded early exploration including exploratory drilling
- Wairakei and a number of subsequent plants built by state electricity corporation
- More recent projects have been “brownfield” using existing information collected by government activities
- Geothermal is treated like water – rates of withdrawal and reinjection defined
- Development rights are controlled through land ownership
- Resource consent processes well established
- Geothermal commercially attractive within available energy mix

• Utilities have invested some \$2 billion over last 10 years in new plant so that geothermal now supplies almost 20% of New Zealand’s electricity:

NEW ZEALAND

附圖 22、紐西蘭地熱發展成功之關鍵因素，